

文系学生のための生物学教材の改良 ? : シラカシ *Quercus myrshineafolia*の「陽葉」と「陰葉」の 組織・形態学的比較

著者	山岡 景行
著者別名	YAMAOKA Kageyuki
雑誌名	東洋大学紀要, 自然科学篇
巻	57
ページ	157-180
発行年	2013-03
URL	http://id.nii.ac.jp/1060/00006000/

文系学生のための生物学教材の改良
VI : シラカシ *Quercus myrsinaefolia* の「陽葉」と「陰葉」
の組織・形態学的比較

山岡景行^{*)}

Improvement of Biology Teaching-Materials for the
Departments of Humanity Students
VI : Morphological and histological comparison of
so-called sun leaves and shade leaves of
Bamboo-leaf Oak, *Quercus myrsinaefolia*

Kageyuki YAMAOKA^{*)}

Abstract

The students often believe textbook-like knowledge a tree has two types of leaves such as 'the sun leaves' and 'the shade leaves'. They must understand scientifically two categories are only extreme cases. Characteristics of whole leaves are actually changing continuously, because the location of each leaf in a tree crown must affect the sunlight intensity and then the leaf characteristics. This is one of important strategies in their struggle for life. The students should perform comparative observations and analyses of the morphological and histological characteristics of leaves. The author tried to plan teaching-materializing the comparison of characteristics between so-called 'sun leaves' and 'shade leaves' to realize the strategy of trees. It was a problem how the educationally effective syllabus was planned under the situation such as a little budget, poor facilities and equipment, and a little man-power supporting and assisting the student experiments. Some trials and experimental results by the author and some results by students were reported.

Keywords : 「陽葉」と「陰葉」、シラカシ

^{*)} 東洋大学自然科学研究室、文学部中国哲学文学科、〒112-8606 東京都文京区白山 5-28-20
(2013 年 4 月以後の連絡先 : 〒277-0823 千葉県柏市布施新町 3-6-11)

^{*)} Natural Science Laboratory, Toyo University, c/o Department of Chinese Philosophy and Literature. 28-20,
Hakusan 5, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8606, Japan

(Private address after April 2013: 3-6-11 Fuse-shinmachi, Kashiwa, Chiba 277-0823, Japan)

はじめに

1991年6月の大学設置基準改訂により、一般教育と専門教育の区分が廃止される、いわゆる大綱化が同年7月に施行され、各大学・学部は教育を自由に編成できることになった。本学では2000年度で教養課程が廃止され、所属の専任教員はいずれかの学部の学科に分属することになり、分野と呼ばれていた教学組織が消滅した。この頃の「規制緩和政策」は「首都圏の既成市街地における工業等の制限に関する法律」、いわゆる「工場等既成法」の緩和に及んだ。首都圏への人口集中を防ぐ目的の同法の対象は多くの学生を抱える大学にも及んでいたが、郊外に分散していた校舎を規制緩和により「都心回帰」させ得ることになった。本学は文系5学部の大学院までの一貫教育を名分に、埼玉県朝霞市で行っていた文系学部1・2年生の教育を東京都文京区の白山校舎に再移転させる「都心回帰第一号の事例」となった。朝霞校舎で文系学部の教養的教育としての自然科学系科目の教育と研究に携わってきた自然科学系、とりわけ実験系教員の教育研究環境は、朝霞校舎の5～7室の学生実験準備室兼担当教員研究室を伴う2室の学生実験室から、白山校舎の、事実上学生実験準備室さえ備えない1室のみの学生実験室に縮小された。朝霞で20数年間に整備してきた大部分の機器備品は移設先が無くて廃棄するか、朝霞の倉庫に死蔵することになった。著者は生物学、特に実験を伴う「生物学実験講義」の授業内容を、激変した環境下で少しでも教育効果を上げうる内容に再構成することにした。専任の教務員の実験補助者の人事枠も削減され、実験準備や片付け作業を可能な限り簡素化しうる工夫もせざるを得なくなった。この間の様々な試みを一連のペーパーで報告したが(山岡、2005～2012)、このシリーズは著者の退職決意により本報で終わることになった。

前報(山岡、2012)までは春学期の授業内容、すなわち主に花粉媒介者との関わりを意識した被子植物の花被色に関する講義と実験観測を主題としていた。秋学期はエネルギーとしての光、すなわち光合成が主題であるが、未報告であった。本報が扱う範囲は、植生遷移の主要因を光エネルギー獲得戦略・戦術の切り口から講義した上で、いわゆる「陽葉」と「陰葉」を組織・形態学的に比較観測し、植物群落の生産構造を個体レベルに引きつけて理解させることである。文系学生の生物学的知識は、自然科学に関心を持つ少数の学生でも教科書の知識の域に止まり、「科学的な探求」とはほとんど無縁と言える。本報の目的は「既成の知識」を批判的に検証させるための一連の講義や実験内容の工夫と、学生実験結果の一部を報告することである。

材料と方法

(1) 授業計画の概要

先ず再構成の結果として行き着いた秋学期全体の授業内容を紹介する。

表1に受講者に配布した2012年度秋学期全15回の授業計画を示す。2010年度に14回、2009年度までは13回、2006年度以前は12回の授業回数であったが、実験内容は設備の予算も関わるので簡単には変えられず、講義時間数で調整した。したがって、実験・観

表 1 生物学実験講義 2012 年度秋学期授業予定表

2012年度 生物学実験講義予定表		授業用HP: http://www2.toyo.ac.jp/yamaoka3/biosrv/biosrv.html	
秋学期	授業回数	授業内容	
09月27日	1	講義	授業内容と提出物の説明新規受講者履修者決定・自己紹介
10月04日	2	講義	「植物社会の競争と協調」の講義 その1: 植生 — 光環境を中心に (含、種子植物の移動手段としての種子散布型)
10月11日	3	講義	その2: 遷移 — 光り争奪戦略の観点から
10月18日	4	講義	その3: 光争奪戦略としての生産構造と陰葉と陽葉
10月25日	5	実験	顕微鏡の使用法・講義とトレーニング
11月01日		大学祭・休講	
11月08日	6	実験	スギ花粉観察と直径の計測:スケッチの練習とマイクロメータによる計測の練習
11月15日	7	実験	「陽葉」と「陰葉」の組織比較観察とスケッチ
11月22日	8	実験	「陽葉」と「陰葉」の組織比較計測
11月29日	9	実験	「陽葉」と「陰葉」の生重量、葉面積、葉緑素含量の比較計測
12月06日	10	講義	計測データの統計処理の基礎:正規分布と標準偏差
12月13日	11	講義	講義とデモンストレーション:Excelによる統計処理:標準偏差、t-検定、グラフ作成(第8回、第9回授業における計測結果の統計処理)
12月20日	12	実験	光合成色素の抽出と薄層クロマトグラフィー(TLC)の練習
12月25日	13	実験	陸上緑色植物と海藻の光合成色素のTLCによる比較
01月03日		冬季休暇	
01月10日	14	講義	まとめ講義:海藻の色素と生命の歴史
01月17日	15		成績発表、および講義進行調整予備日

察の内容は基本的には12回の授業回数の時代と変わらない。本報で扱う授業内容は朝霞校舎時代の通年授業の前期に行っていた朝霞市の岡城址の斜面林の植生とその遷移の調査(山岡、1995)関連の授業の一部であった、光エネルギー獲得戦略の理解を深めるための授業内容を、秋学期の授業テーマの一部として再構成したものである。

第1回授業は「不完全セメスター制」の下で、主に秋学期から新たに受講する学生を対象に秋学期の授業内容の概略を紹介し、履修意思を確認して履修者を決定し、春学期から通しで履修している学生も交えて自己紹介を行なう。

第2・3回授業で背景説明として遷移の概説を行い、遷移の一因として様々な種子散布型、特に春学期の花色素との関わりを意識した鳥被食散布型と果実色との関わり(中西, 1999; Nakanishi, 1996; Wheelwright and Janson, 1985, etc.)等を解説し(図1参照)、第4回授業で遷移の主要因として「光エネルギーの争奪戦略」を講義する(図2-a ~ -c参照)。

第5回で光学顕微鏡の基本的取扱法、対物・接眼レンズや、コンデンサー、絞り等の光学の基礎を講義し、粗動・微動ハンドルによる焦点調節法の基本、メカニカルステージの副尺の原理説明とXY座標値の計測を実地に学ばせる。

第6回授業でスギ花粉の永久プレパラートを用いて焦点深度の実感体験、焦点レベルを変えて全体像を把握しつつ、絵画で多用される曖昧な線を廃した生物学のスケッチ法の訓練を行い、マイクロメータによる細胞サイズの計測訓練を行う。

第7回授業でシラカシの樹冠表層および下層(図3)から採取した典型的な「陽葉」と「陰葉」の永久プレパラート(図2-e～-g)の比較観察とスケッチを行わせる。

第8回授業では上記プレパラートを用いて典型的な「陽葉」と「陰葉」の葉厚、柵状組織細胞と海綿状組織細胞の最大長と最大幅を計測させる(図2-h、-i)。

第9回授業では、シラカシの樹冠表層と下層から採取した枝(図2-d)を学生に提供し、それぞれの枝の葉の形状や着き具合を肉眼的に比較観察させた後に、前年の葉を除いて当年に成長した新梢の個葉をランダムに選択させて葉身の生重量、葉面積、光学的葉緑素含量を計測させる。

第10回授業で、数値データ処理の基礎として度数分布表作成等を含めて、正規分布と標準偏差の考え方の解説と計算方法の指導を行う。

第11回授業で平均値の差のt分布検定の計算手順と諸手順の意味を解説し、表計算ソフトExcelによる検定の実演をパーソナルコンピュータの画面投影により提示しながら行い、第8回授業で得られた「陽葉」と「陰葉」の葉厚の差の主要因が柵状組織細胞の長さの差であることの統計的確認と、第9回授業で得られた集計データの度数分布グラフの作成を実演し、樹冠上層と下層の枝には典型的な「陽葉」や「陰葉」のみならず「陽葉的陰葉」や「陰葉的陽葉」も存在することを認識させる。数値データは著者のホームページにupして提供し、学生自ら統計処理を行ってレポートを作成することを奨励し、オフィスアワー等に個別指導を行う。

第12回以後の授業は光合成色素に関する講義と若干の実験である。

(2) 材料

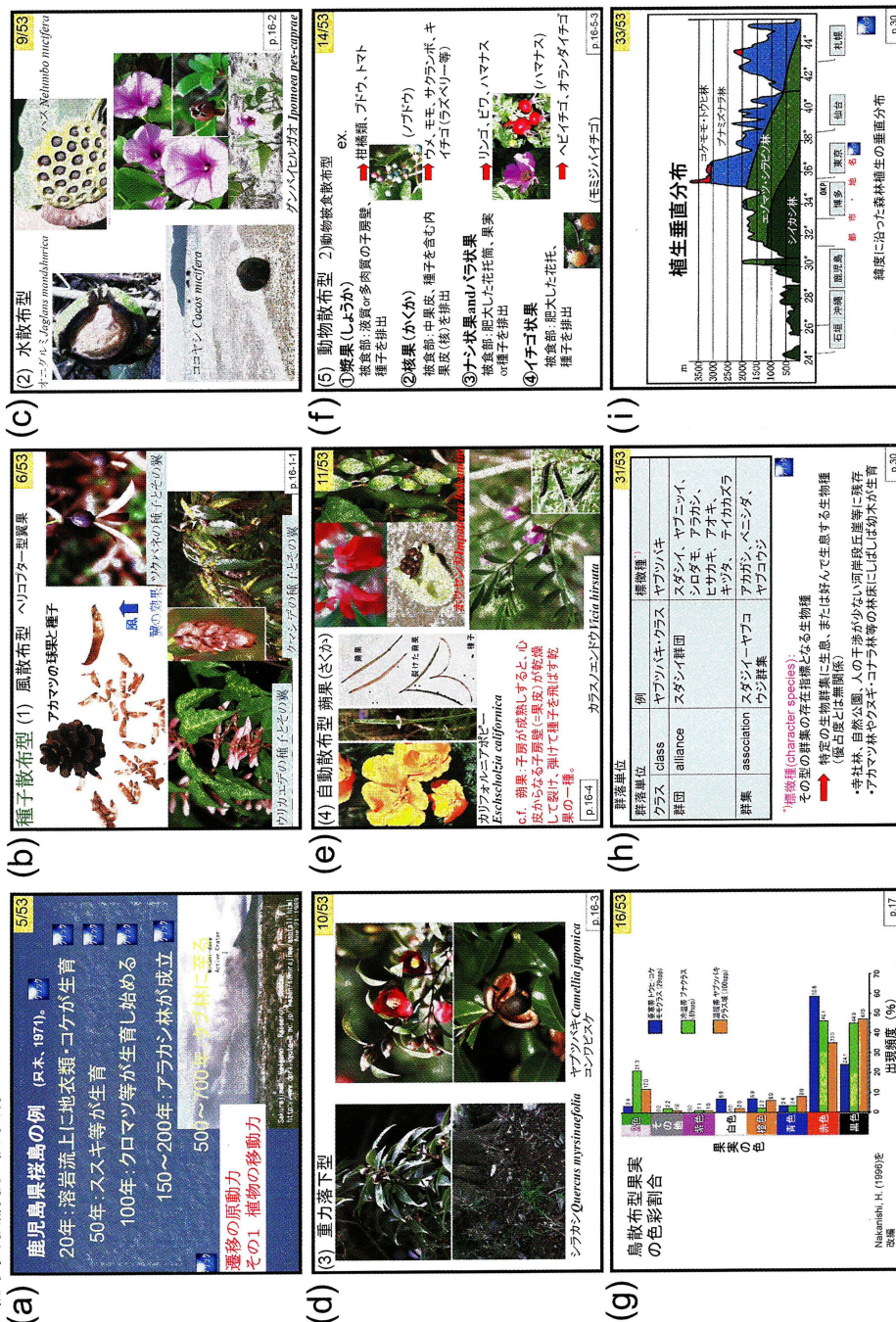
関東地方平野部二次林林縁部に生育するシラカシ *Quercus myrsinaefolia* の樹冠表層近くと下層近くから採取した枝の葉を全ての観測の材料とした(図3)。図中の樹高、胸高直径は2004年4月現在の計測値である。以来、2012年度まで、一貫して同一個体の同一位置から枝葉を採取し、学生実験や担当者による予備実験に供した。対象個体が生育する二次林は、著者の自宅近く、千葉県柏市と我孫子市の境界をまたぐ民有林であり、南西方向の開けた隣接地は当初は草地であったが、10年程前から砂利舗装の駐車場に変貌したが、日中に太陽光を遮るものは存在しない。

(3) 学生実験における観測方法等

1) 光学顕微鏡観測

オブションのメカニカルステージと簡易照明装置を装着した単眼顕微鏡(オリンパス、HS-2)と10 μm 対物マイクロメータと接眼マイクロメータを用いて、シラカシの典型的「陽葉」と「陰葉」の横断面の永久プレパラートの比較観察を行わせ、葉厚、柵状組織および海綿状組織細胞の最大長と最大幅を計測させた(図4参照)。接眼レンズは7倍と15倍、対物レンズは10倍、20倍および60倍である。担当者による生葉の観測・写真撮影等には微

生物学実験講義 秋学期



担当者：山岡景行

図1 2012年度秋学期第2・3回授業:「植生と遷移」の解説用 PowerPoint 教材スライド抜粋
学生には担当者のホームページ上で pdf ファイルとして提供(以下、同様)。

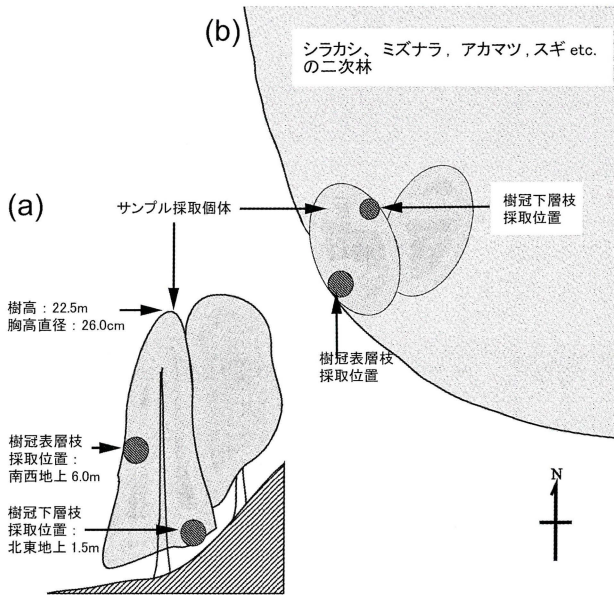


図3 シラカシの枝葉採取個体と、その立地・環境条件

(a) 立面図、(b) 平面図。著者の居住地近くの千葉県柏市と我孫子市にまたがる民有林である。開けた林外に面した樹冠表層枝の個葉を「陽葉」、林内の下層枝からの個葉を「陰葉」とする。



図4 シラカシの典型的「陽葉」と「陰葉」の永久プレパラート観測風景

学生は、筆者の「模範スケッチ」を参照(右手前の学生の左手)しながら、各組織・細胞を認識しつつ、観測し、スケッチを行う。1998年5月、朝霞校舎学生実験室における授業風景のスナップ。

分干涉落射蛍光顕微鏡(オリンパス、BX50WI-BX-FLA)を用いた。

初期にはシラカシ葉の一時プレパラートをピストンと片刃カミソリで作成させていたが、「陽葉」と「陰葉」の標本を90分の授業時間内に作成して観測し終わることが難しい学生が年々増加し、やむを得ず著者が作成した永久プレパラートを提供するようになった。

固定・切片作成・染色等のプロセスはスライドで解説した(図2-f参照)。染色は植物組織の染色に常用される酢酸カーミン・酢酸オルセイン・サフラニン・ファストグリーン等(ex. 井上, 2004)ではなく、著者が研究に多用していた動物組織染色用の酸性フクシン・オレンジG・アニリンブルーによるMallory三重染色(McManus & Mowry, 1960; 小林・影

山、1964 *etc.*)である。アニリンブルーは細胞壁を、酸性フクシンは細胞質、特に葉緑体を、オレンジGは維管束の一部を良く染色する。

2) 葉身の生重量計測

葉柄を切除した直後の新鮮な葉を、0.1mgまで計測可能な分析用電子天秤を用いてmg単位で計測させた。当初、電子天秤1台(エー・アンド・デイ、GR-200)のみであったが計測に手間取り、面積計測、葉緑素量計測と実験班毎にローテーションで計測するに当たり、電子天秤の前に待ち行列が出来る状態であったために、後に更に1台(GR-120)を追加した。

3) 葉面積計測

3)-1 その1：面積計が使用不可で、mg単位の天秤が使用可能の条件下の測定

パラフィン紙製葉包紙にシラカシの「虫食い穴」も含め輪郭を鉛筆でなぞり、解剖鋏で切り抜いた紙片の重量をmg単位で計測し、面積に換算させた(図5参照)。

学生は手油等の付着を防ぐために手術用手袋を着用し、写真フィルム用ライトボックスの透過光で葉身の外形を葉包紙に軟らかい鉛筆でトレースし、鋏で切り抜き、紙片の重量をmg単位で計測して面積に換算する。その目的で、Excelのワークシート並びに散布図の作図機能等を利用した。図5-bの基準面積の葉包紙重量/面積表は、湿度の影響を排除するために授業直前に担当者が所定面積の紙片の重量を計測して入力しておくものであり、図5-aは散布図機能を利用したその直線回帰グラフである。図5-cは学生が葉身をトレースして切り抜いた紙片の重量を入力すると葉面積に換算して出力する様に作った表である。

3)-2 その2：パーソナルコンピュータとイメージスキャナーを利用した面積測定

山本(2003)が葉面積計測を含む森林情報の解析を目的に開発した画像解析ソフト、LIA for Win32 (LIA32), Ver 0.376 β 1 をインストールしたWindowsXPベースのパーソナルコンピュータと、TWAIN対応のイメージスキャナーを用いて葉面積の計測を行った。全受講生が自らパーソナルコンピュータ等を使いこなして計測することはいささか困難であったために、学生に測定対象をイメージスキャナーの読み取り面にセットさせて、担当教員がパーソナルコンピュータを操作した(図6参照)。

4) 光学的葉緑素含量の計測

生重量と葉面積を測定した個葉の葉緑素量を計測させた。光学的葉緑素計(コニカミノルタセンシング、SPAD-502)を用いて、葉脈主脈部や虫食い穴や病変部を除き可能な限り偏らない10カ所からのSPAD値の平均値をもって個葉の平均葉緑素量とした。SPAD値とは、農水省大規模経営体土壌・作物・生産物分析システム実用化事業(Soil & Plant Analyzer Development, SPAD: 農産業振興奨励会、1998)に基づいて開発された、葉緑素の吸収ピーク(赤領域)と非吸収域(IR)の光学濃度差に基づく光学的葉緑素含有量の測定単位である。

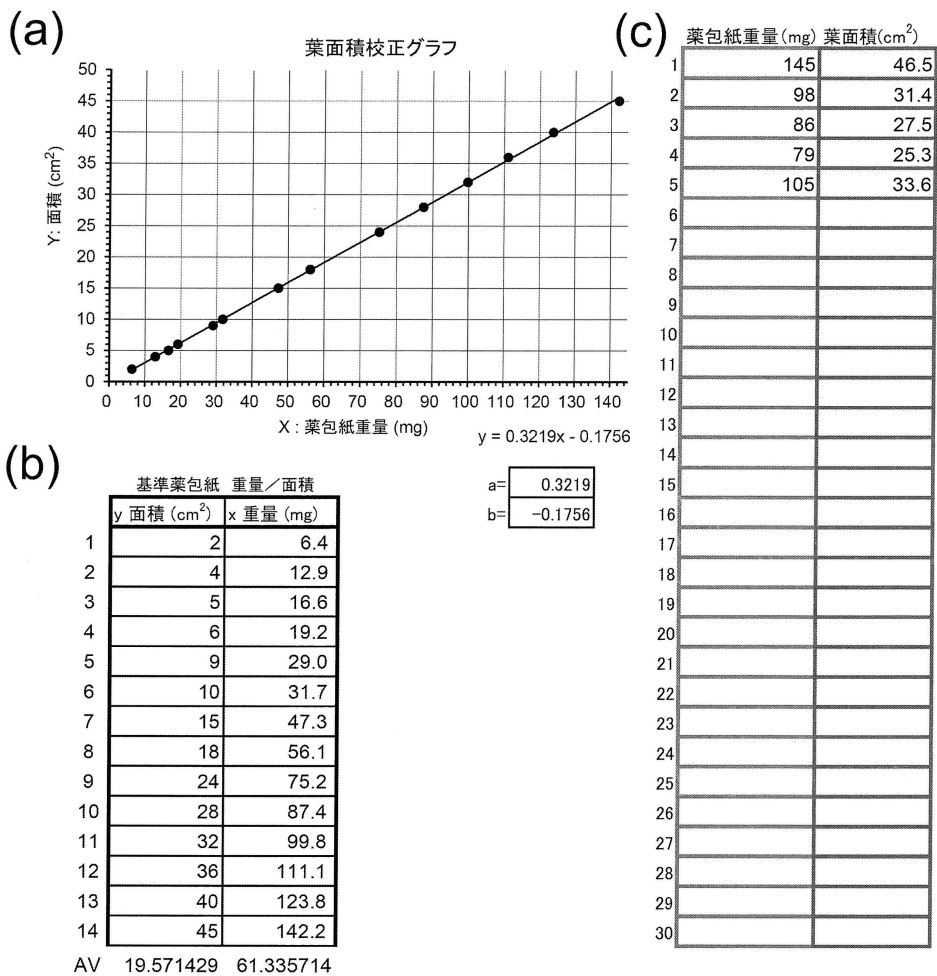


図5 シラカン葉面積計測法 (その1) : Excelを用いた個葉の型紙－葉面積換算法
本法は、特別な面積計を準備できなくとも mg 単位で計測可能な天秤が使用可能であれば葉面積を計測できる方法である。朝霞校舎に教育研究の中心が存在し、白山校舎で設備が不十分であった時代に採用した方法である。予め基準となる所定面積の葉包紙を準備し、重量を計測して表 (b) の重量列に入力するとグラフ (a) の葉包紙重量－面積換算グラフと一次回帰方程式のパラメーターが表示される。学生が葉包紙を個葉に当ててトレースして切り抜いた紙片の重量を表 (c) の重量列に入力すると葉面積に換算されて表示されるようにワークシートを作成した。

結果と考察

1. 測定項目の検討

測定項目の検討に先立ち、高等学校のカリキュラムを確認した。過去約30年間に高等学校理科の学習指導要領は4回改変された。生物学領域では、1978年に告示され1982

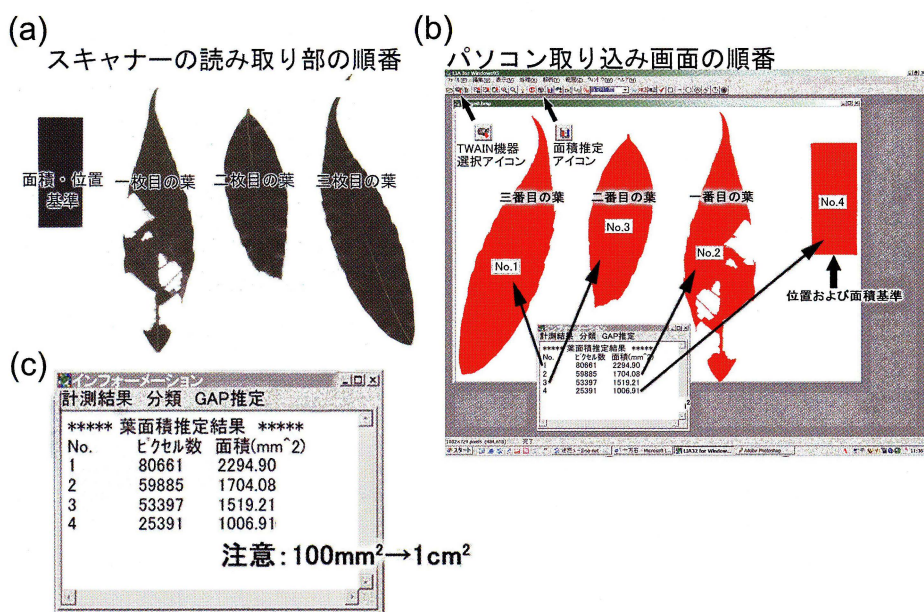


図6 シラカシ葉面積計測法(その2): WindowsXPベースの葉面積計測用アプリケーションLIA for Win32 (LIA32), Ver. 0.376 B1 計測画面の説明用スライド画面

(a) イメージスキャナーの読み取り画像、(b) LIA32の計測画像、(c) 計測画面(b)の計測結果表示用「インフォメーション」窓の拡大図。(a)と(b)の様に、スキャナーの読み取り面への測定対象の配置とLIA32の計測画面の左右が逆転すること、計測結果は面積が大きい順に表示されるので(c)、スキャナー左側に面積・位置基準用の紙片を置き(a)、計測値の記録の混乱を防止した。なお、図中のアイコンの説明や測定対象の並べ順(面積基準、一番目の葉、*etc.*)は著者による加筆である。

年に実施された学習指導要領に基づき「生物」(4単位)が実施されていた。1989年告示1994年実施の課程で「生物ⅠA」(2単位)・「生物ⅠB」(4単位)・「生物Ⅱ」(2単位)に分割された。1999年告示2003年実施の課程で「生物Ⅰ」(3単位)と「生物Ⅱ」(3単位)に変わり、2009年告示2012年実施の課程で「基礎生物」(2単位)と「生物」(4単位)へと変遷している(文部科学省、2009、*etc.*)。若干の教科書を参照し、本報のテーマの扱い見てみると、1997年文部省検定済みの生物ⅠBの教科書(川島*etc.*、1997)では第1編「生体の構成とエネルギー」、第四章「エネルギーの取り込み」、1.「光合成と植物」で約3ページを費やして陽生植物と陰生植物の記載に続いて陽葉と陰葉が扱われている。2012年度の現行教育課程では、文部科学省が平成23年(2011)に検定し、2012年4月に発表した高等学校用教科書目録には平成25年度使用の「生物基礎」用に10種類の教科書が列挙されている。例えば教科書「高等学校新生物基礎」(吉里*etc.*、2012)で第4章「植生の多様性と分布」、第1節「植生と遷移」、観察⑨において「陽葉と陰葉の観察」が位置づけられ、陽葉と陰葉の形態や構造の違いを葉の切片の一時プレパラートを作成して比較観察することになっている。

陰葉と陽葉という概念は研究者間でも、いわゆる陰葉と陽葉で様々な特性が比較研究されており、その事例は枚挙に遑がなく(例えば、Nobel, 1976; Lichtenthaler *et al.*, 1981; Cui, Vogelmann and Smith, 1991; Demmig-Adams and Adams III, 1992; Terashima, Miyazawa and Hanba, 2001; 北澤, 2012)、陽葉と陰葉という対の概念は、まさに「教科書的知識」となっていると言える。本教材研究の「隠された目的」は、この様な「教科書的知識」を何の疑も持たずに知識として受け入れることは真に科学的な姿勢ではない、ということを実感的に学習させることである。とは言え、先ず「教科書的知識」を確認することから始めさせた。

(1) 葉断面の比較観察

シラカシの樹冠表層と下層から採取した枝(図3参照)から得た典型的「陽葉」と「陰葉」の、生葉と染色標本の断面を示す(図7)。「陽葉」は2～3層の細胞層からなる良く発達した柵状組織を持つのにに対し、「陰葉」はほぼ1層の柵状組織細胞を持つので、学生に観察させ比較させる好材料と言える。

学生に典型的「陽葉」と「陰葉」の横断面の永久プレパラート標本を観察させ、スケッチさせた。葉厚の差と柵状組織の発達の違いを認識させるための観察である。90分の授業時間内にスケッチを完成させるために、葉脈部を除いた上表皮細胞3個程度の狭い幅に限って下表皮までの断面を、接眼マイクロメータのスケールで縦横比を確認しながら「陽葉」と「陰葉」を等尺で並べて描かせた(図2-g参照)。スケッチが葉の一部であることを表現するためにスケッチの両端の細胞は一部を切り取った様に描き込むことを指示した。

問題が一つあった。シラカシ葉断面(図7-a, -b, -g, -h)に100～200 μm 間隔で存在する上表皮から下表皮に至る葉緑体を欠く組織が葉脈の一部であろうことに疑問を抱いたこともなかったが、高等学校時代のヤブツバキ葉等の断面を教科書で見た知識や標本の観察経験と比して戸惑い、質問する学生がいた。専門家ではない著者は、改めて植物学、植物形態学の文献を調べたが、確証は得られなかった。学生の疑問に答えるべく生葉の横断面徒手切片の微分干渉画像(図7-a, -b)と同一視野の微分干渉・UV励起自家蛍光画像(図7-c, -d)、および水平断面の微分干渉画像(図7e)と同一視野の微分干渉・UV励起自家蛍光画像(図7-f)を比較検討した。水平断面は、葉を下表皮を上にしてガラス板上に置き、ガラス面に対して鋭角に構えたカミソリでほぼ水平に削ぎ切りを行って海綿状組織部位で切断できたところを切断面側からを観察した。横断面の上表皮から下表皮に至る葉緑体を持たない組織は、水平断面で約200 μm 間隔の網目状に発達した維管束とその周辺を囲む厚膜組織細胞群と一致すると考えて良いことが解った。学生に提供する Mallory 三重染色標本(図7-g, -h)で、オレンジGで染色される形成層の細胞(染色画像不提示)の周辺の上表皮から下表皮まで連なる、細胞壁がアニリンブルーで良く染色される細胞群は、網目状に発達した維管束の断面の一部であると、説明して差し支えないことが確認できた。

(2) 葉厚、柵状組織細胞、海綿状組織細胞のサイズの比較計測

「陽葉」と「陰葉」の厚さの違いが柵状組織の発達程度の違いであることは断面の組織観察で十分ではあるが、それを計測することで確認し、数値データの統計処理を学ばせ

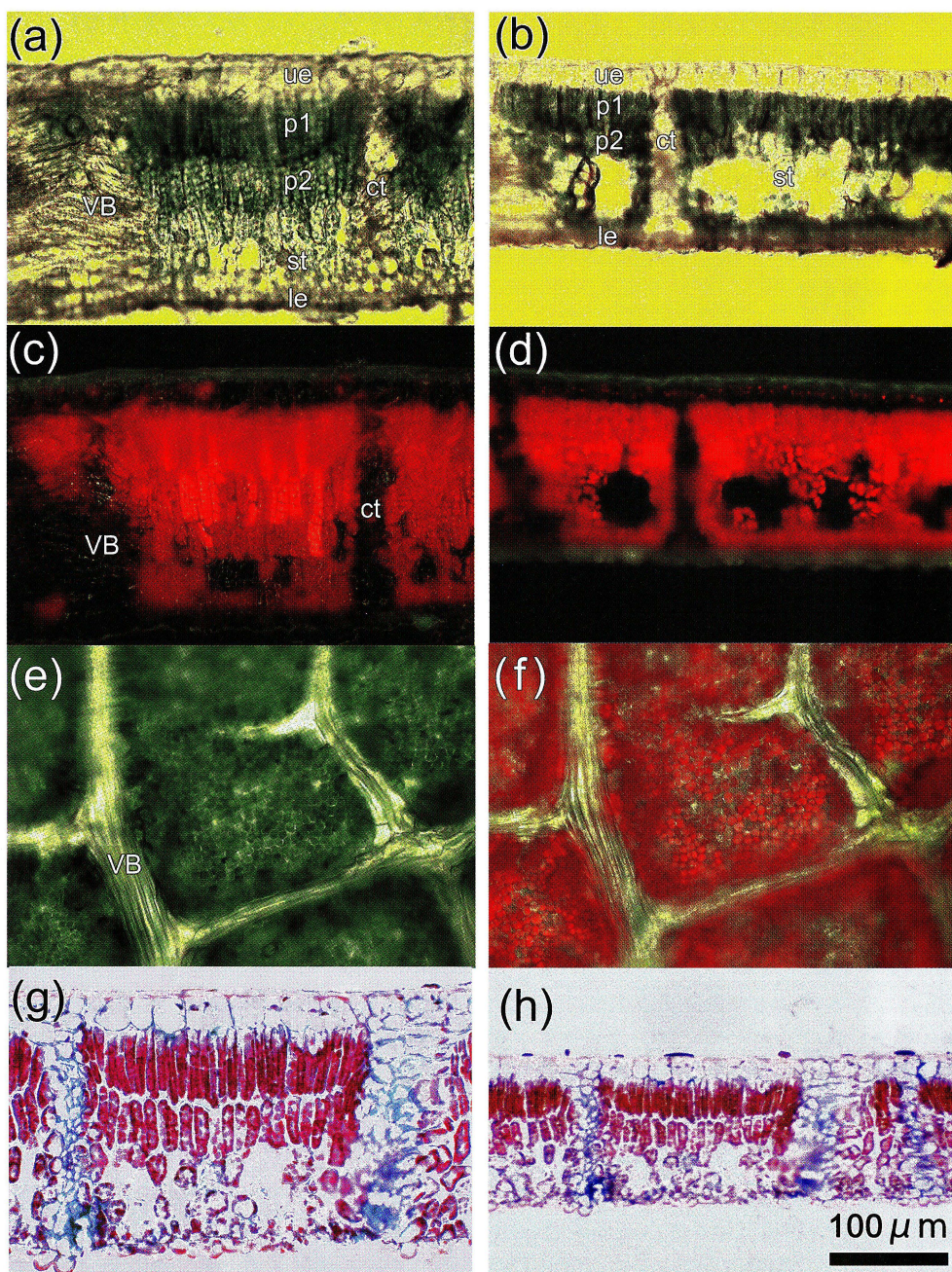


図7 シラクシの典型的「陽葉」と「陰葉」

(a),(c),(g):「陽葉」の横断面、(b),(d),(h):「陰葉」の横断面、(e),(f):「陰葉」の海绵状組織細胞部位の水平断面の透過画像。(a),(b),(e):生葉徒手切片の微分干渉画像、(c),(d), 同、UV 励起自家蛍光画像 (それぞれ a,b と同視野)(f) 微分干渉・UV 励起自家蛍光画像、(g),(h):Mallory 三重染色画像 (学生が観測をする永久プレパラート画像)。100 μ m 校正スケールは全てのパネルに共通。le: 下表皮、p1: 柵状組織第1層、p2: 同第2層、st: 海绵状組織、ue: 上表皮、VB: 維管束。

るために、永久プレパラート標本で葉厚、柵状組織細胞と海綿状組織細胞の最大長と最大幅を計測させた。図8は2005年9月に、図3に示す樹冠表層の典型的な「陽葉」と樹冠下層の典型的「陰葉」の生葉の横断面を著者が計測した結果であり、葉厚は0.1%レベルで、柵状組織各層の最大長は5%レベルで平均値に有意差が認められた。そこで、学生には各自に与えた永久プレパラートを用いて一人当たり「陽葉」、「陰葉」それぞれ最低5組の数値データを得るように指示し、葉脈を除く位置でランダムに5カ所の葉厚を計測し、次いでランダムに選んだ柵状組織各層の細胞、および海綿状組織細胞それぞれ5個の細胞の最大長と最大幅を計測させた。対物レンズと接眼レンズの組み合わせは、学生間で統一して計測させた。「陽葉」、「陰葉」とも5組のデータを計測し終わって余力がある学生にはデー

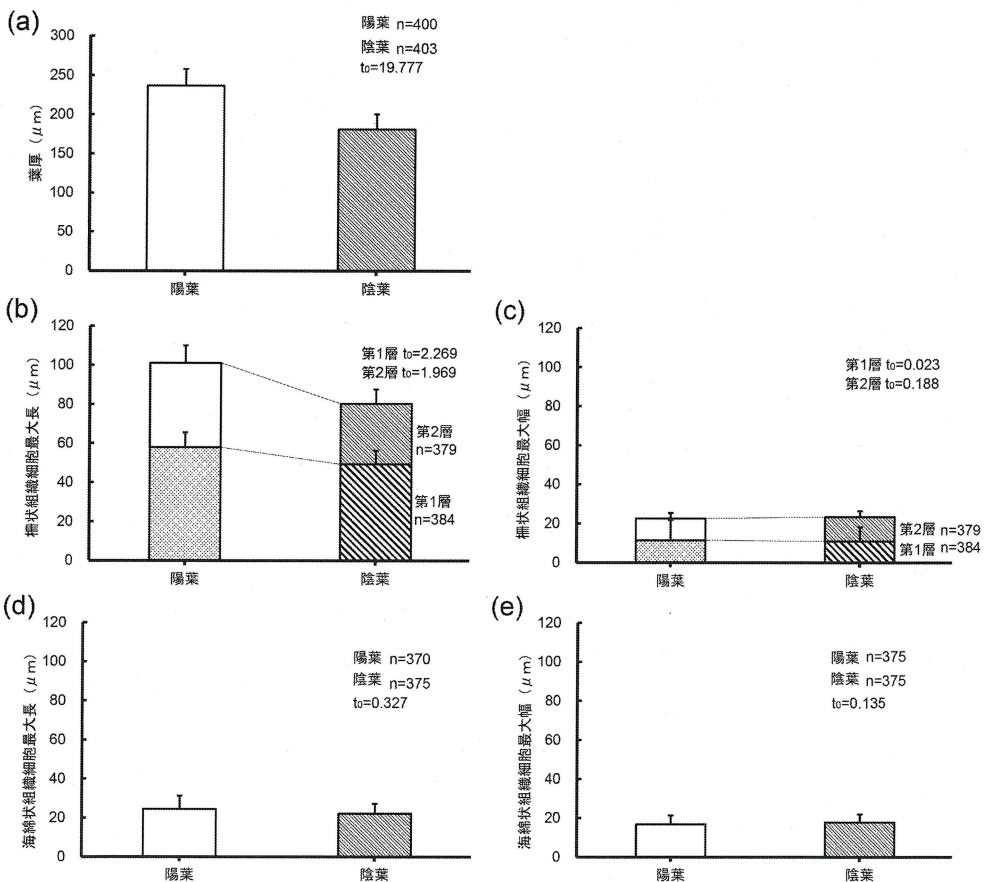


図8 シラカシの典型的「陽葉」と「陰葉」の生葉の切断面を用いた葉厚と光合成組織細胞のサイズの比較

筆者が2005年9月に生葉の徒手切片を微干渉顕微鏡下で計測した予備実験の結果を示す。なお、学生は、「陽葉」、「陰葉」それぞれ10枚から作成しMallory三重染色を施した横断面切片(図7-g, h参照)3枚を包埋したプレパラート約100枚からランダムに選んだ切片で計測を行う。各棒グラフは図中に示す計測データ数の平均値を、またエラーバーは標準偏差を示す。t分布検定の t_0 値を各図に示すが、葉厚は0.1%レベルで、柵状組織各層の最大長は5%レベルで平均値に有意差が認められた。

タ数を増やすように指示し、授業終了後に担当者がデータをExcelで集計して授業用のホームページにupし、学生に提供した。各クラスの学生が分担して計測した結果を統一フォーマットのデータチャートに記録して提出するが、あやふやな記載や明らかに間違いのデータも混入しているが、それ等を除いてクラス当たり50セット程度のデータが得られれば図8に示す結果と大差が無かった(データ不提示)。

(3) 同一個体における個葉の生重量、葉面積、葉緑素含有量の比較計測

前2項の学生実験で、典型的「陽葉」と「陰葉」の葉厚の違いと光合成組織、特に柵状組織の発達程度の違いを組織形態学的に確認させられるが、このままではあまりにも当たり前の「教科書的知識」の確認に過ぎない。本項は前述の如く個葉が「陽葉」と「陰葉」に単純に二極化されるものではないことを認識させる実験メニューの検討が目的である。

授業の導入部で、以前は受講者を3名ほどを指名して黒板に各自が思い描く樹木の絵を描かせ、「これから、それ等を樹木と認識し得る理由を明らかにする観測を行う」、と説明していた。図2-aは時間短縮のために左図から右に順次アニメーション風に表示してゆく単純化した樹木のパターンであり、「我々が見慣れている樹木の枝葉の垂直分布の特徴を捕らえている」ことを説明する素材としている。図2-bのダケカンパ林の生産構造(只木・蜂屋、1968を改編)を具体例として紹介し、樹冠部の光量は表層から林床に向けて漸減し、個葉の光環境は単純に明暗の2様ではあり得ず、したがって個葉の特性も変化に富むはずで典型的「陽葉」と「陰葉」の二極対立概念では捕らえきれないことを把握させようとした。学生実験室に持ち込む樹冠表層と下層から採取する枝葉を用いて上記目的にかなない、かつ90分の授業時間内に比較計測させ得る項目の検討を行った。

葉厚やその発達程度の指標として、一般的には比葉面積(SLA: specific leaf area)や比葉重(SLW: specific leaf weight)が用いられる(例えば、窪田・植田、1977; Jurik, 1986; Oren *et al.*, 1986; Witkowski and Lamont, 1991; Peng *et al.*, 1993; Wilson, Thompson, and Hodgson, 1999; Evans and Poorter, 2001; 斎藤 *etc.*, 2001; Steinbauer, 2001; 小池 *etc.*, 2004; 香川・江藤・梶本, 2007; 長嶋, 2009; 陶山・作田, 2009)。SLWは用語としての問題が指摘されており、specific leaf massまたは「比葉面積の逆数」で表現することが好ましいという意見もある(小池, 1990)。比葉面積と言う概念は、代表的生物学辞典の一つである岩波生物学辞典第2版(1977)には項目にないが第4版(1996)で『植物の成長解析において、葉の葉身部分の片面葉面積の乾重量に対する比。一枚の葉について求める場合もあれば群落全体あるいは葉群の各階層の平均比葉面積を算出して用いる場合もある』と記載されている。林分の生産構造の一指標としての比葉面積は、数本のサンプル樹を選定して葉面積を計測した個葉を乾燥し、単位乾重量当たり葉面積の平均値を推定する(例えば、Tadaki, 1970)。東京化学同人の生物学辞典第1版(2010)では『葉面積を測定後に葉を乾燥し、葉面積を葉の乾燥重量で除したもの。この逆数の比葉重(leaf mass per area, LMAまたはspecific leaf weight, SLW)も良く用いられる。葉の厚さ、細胞壁の量、デンプンの量などの指標となる。また、光獲得なども論議できる』とある。沼田(1974)が編集した生態学事典には「葉面積比SLA: specific leaf area」の一項目があり『葉面積(cm^2)を葉乾重(g)で割ったもの。葉の厚さに関係しており、同一樹種では上層の葉ほどSLAは小さい』と簡単に記載されている。

ブナ、コジイ、さらにカラマツやモミなどの針葉樹でも、樹冠上層の葉ほど比葉面積値が小さく、言い換えれば厚くなっていて、いわゆる上層の陽葉と下層の陰葉は連続的に変化することが報告されている(小川、1967; Tadaki, 1970; 斎藤 *etc.*, 2001)。若いシラカバの比葉面積は、人工遮蔽による相対照度の変化にわずか7~14日で応答して変化するという(荒木、1972)。葉の面積当たり光合成速度などの生理的特性は比葉面積と負の相関を示す(例えば、Koike, 1988; Reich *et al.*, 1999)。強い光の下では柵状組織が発達するために厚く、比葉面積が小さい値を持つ葉になり(例えば、Hanson, 1917)、大きな比葉面積値を持つ葉は *in situ* で葉の単位重量当たりの光合成能も高いことが報告されている(Poorter and Evans, 1998)。

以上の知見からすると学生にシラカシの個体の様々な部位から採取した葉の比葉面積を計測させ、「陽葉」や「陰葉」が「本来、個体の部位で異なる光環境に応じた様々な特性を持つ葉の両極端」であることを認識させる意義がある。高光エネルギー下で光合成能が高い厚い葉ほど、比葉面積は小さな値をとることになるが、最近では専門家でも直感的に理解しやすいLMA (leaf mass per area) が多用される(小池 *etc.*, 2004)、と言う。したがって、学生の理解のし易さの観点からは「比葉面積の逆数」を計測させるべきであろう。しかし、個葉別に葉面積を計測後に乾燥し、翌週に乾重量を計測する2週にわたる授業の時間的余裕は持てない。また、実験グループ当たり数十枚とは言え、葉面積を計測した個葉を識別して乾重量を計測させると個葉を取り違える過ちを起こし兼ねない。そこで、新鮮な個葉別に葉身の生重量を計測させ、次いで面積を計測して記録させることにした。

図3に示す個体の樹冠表層近くで林外に面した位置、および下層で林内の他の個体に接する位置から枝を採取し、水切りして鮮度を保持して学生実験室に運び、再度水切りをして水を入れた容器に挿して新鮮さを保った枝葉を学生実験に供した。当初、個葉別に生重量と葉面積を計測させて葉面積当たり生重量を求めさせるのみであったが、2006年度以降は予算措置がなされたので個葉別に光学的葉緑素含量(SPAD値)も計測させた。SPAD値は農林水産省蚕試園芸局が推進した土壤作物体分析機器開発事業で水稻の発育程度の指標として葉緑素含有量の検査目的に開発された葉緑素計の計測値である。稲田(1991)は数種野菜の葉緑素含量とSPAD値に高い相関を認め、只木・木下(1988)はドウダンツツジ、ハルニレ、アンズ葉のSPAD値とアセトン抽出した葉緑素の濃度に強い相関(相関係数 $r=0.893$)を見だし、葉緑素の相対量を問題にするフィールド調査でSPAD値の計測の有効性を示した。一方、陶山・作田(2009)はソメイヨシノとシダレザクラの樹冠内相対照度、比葉面積、SPAD値を計測し、SPAD値が必ずしも有効ではないことを報告している。種によりSPAD値計測の有効性に違いがあり得るので、機器予算要求に先立ち、メーカーから試供用デモ機を借り受け、シラカシ葉でSPAD値と葉の特性を比較した。

図9は、2005年9月に図3の個体の樹冠表層と下層から採取した当年伸長した新梢それぞれ40本からランダムに選択した、それぞれ360枚程の個葉別に葉柄切断直後の葉身部の生重量、葉面積とSPAD値を計測した著者による予備実験の結果である。葉身の生重量計測は葉柄切断数分以内に行わないと急速に水分が失われ、重量が減少する。個葉別に[生重量/葉面積(mg/cm^2)]を求め、その度数分布グラフ(図9-a)とSPAD値の度数分布グラフ(図9-b)、両者の相関図(図9-c)を示す。

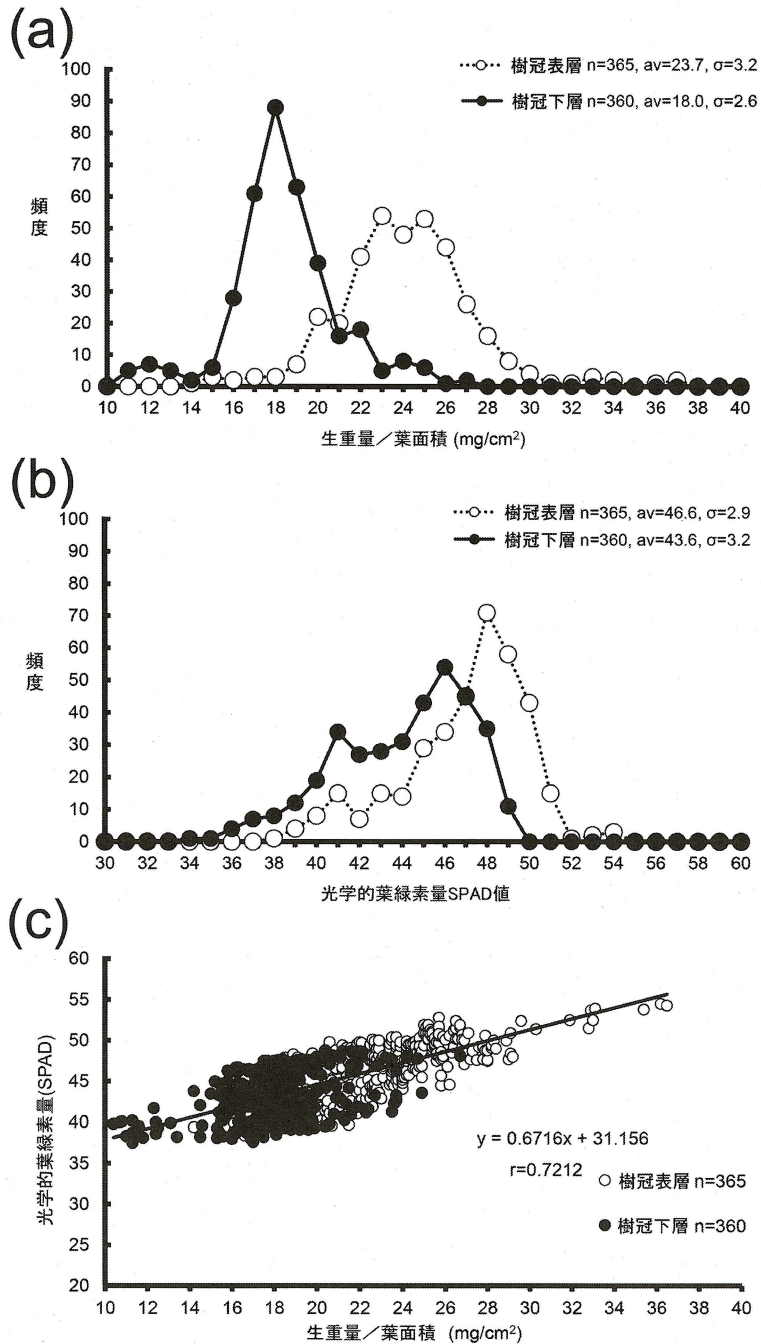


図9 シラカシ樹冠表層および下層から採取した枝40本から採取した個葉の単位面積当たり生重量とSPAD値

SPAD値計測の有効性を確認するために2005年9月に行った予備実験結果を示す。(a)[生重量/葉面積: mg/cm^2], (b)SPAD値の度数分布、(c)[生重量/葉面積: mg/cm^2]—SPAD値相関図。個葉採取個体は図3参照。

樹冠表層部の個葉は樹冠下層部の個葉よりも概して[単位葉面積当たり生重量]および SPAD 値が大きな値を示し、また、[単位葉面積当たり生重量]と SPAD 値は直線回帰に良くフィットし、相関係数 $r=0.7212$ で比較的良好な相関を示した。図9の各グラフ共、樹冠表層から採取した個葉のデータと下層から採取した個葉のデータが大きな重なりを示し、樹冠表層部の枝には典型的な「陽葉的個葉」から「陰葉的個葉」が、樹冠下層の枝には典型的な「陰葉的個葉」から「陽葉的個葉」が含まれていること、すなわち、個葉が存在する光環境に応じ、「陽葉的陽葉」から「陰葉的陰葉」の間に中間的特性を持つ葉が「連続的」に存在する事を示唆している。図10は2011年度の1コースの18名の受講者を6グループに分け、各グループ3名にそれぞれ9枚ずつ合計54枚の個葉を計測させて集計した結果である。昼1コースのみと、夜昼1コースずつ計2コースの授業が隔年に開講されるが、

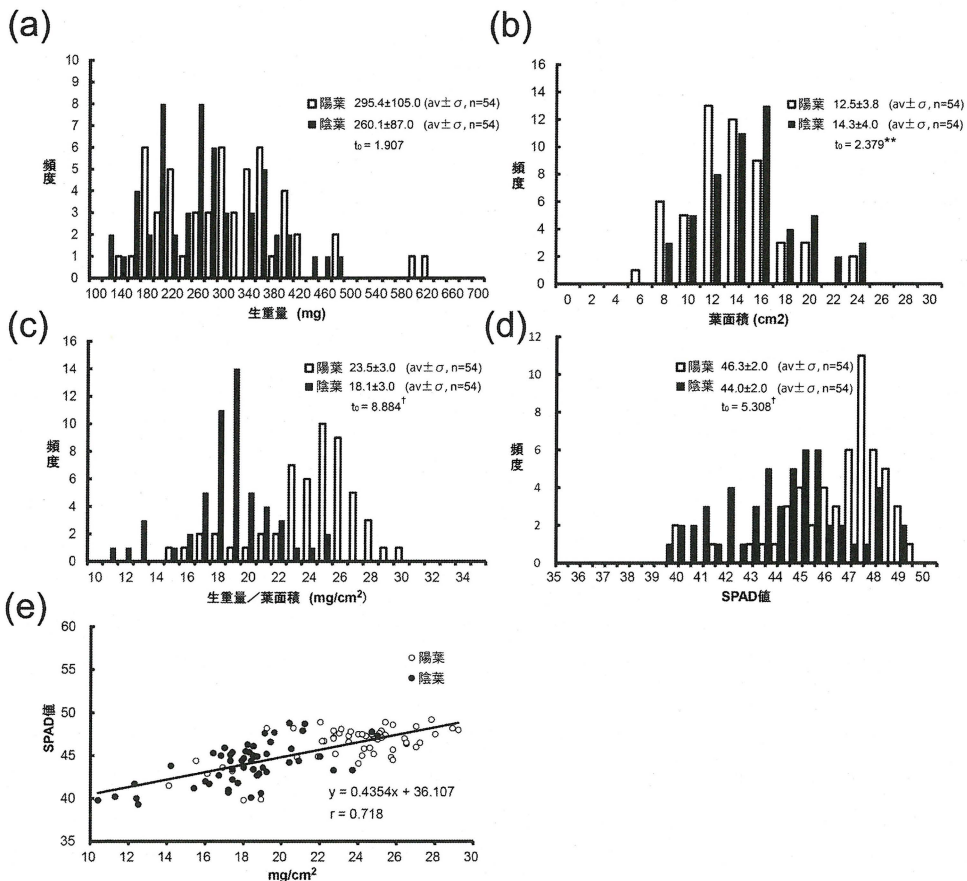


図10 シラカシ樹冠表層および下層の枝から採取した個葉の2011年度の学生実験による計測結果

(a) 生重量、(b) 葉面積、(c) [生重量/葉面積: mg/cm²]、(d) SPAD 値の度数分布、(e) [生重量/葉面積: mg/cm²] - SPAD 値相関図。「陽葉」: 樹冠表層の枝から採取した葉、 $n = 54$ 、「陰葉」: 樹冠下層の枝から採取した葉、 $n = 54$ 。(a)-(d)の数字は平均値±標準偏差、および t -検定の t_0 の値を示す。(d)は直線回帰方程式と相関係数を示す。

2011年度の様に1コース分50組程度のデータ数でも図9のデータ数360組程度の結果と同様の傾向が示され、目的を達し得ることが解った。

おわりに

春学期の花色に関するテーマは10本のペーパーで報告したが、今年度末の退職の決意により、この教材研究シリーズも本報で最終回である。秋学期に関する内容は本報1本であるために多くの項目を盛り込まざるを得ず草稿段階ではページ数が膨らんだので、取捨選択して圧縮した。不提示資料のために部分的な飛躍が感じられることを懸念する。秋学期の残り時間は、関連する別テーマ、すなわち陸上緑色植物と海産緑藻、褐藻、紅藻の光合成色素の違いをシリカゲル薄層クロマトグラフィーで定性分析し、その意味を考える授業が続くが、その内容については報告する機会を持てなかった。

本報のテーマには、都市環境下の林の位置づけとその創造の試みの研究が背景にある(山岡・守山・重松、1975, 1977; Yamaoka, Moriyama and Shigematsu, 1976; 守山・山岡・重松, 1977; 守山 *etc.*, 1984)。このテーマは野外調査を含む授業が実施可能であった朝霞校舎で実験講義の授業に取り入れた。2コースの履修学生達を引率して、天気予報を睨みながら実施日を決める5月の年中行事となった野外授業と、データ解析を行いレポートにまとめる指導を行う授業であった。黒目川と新河岸川の合流部近くの河岸段丘の一角に存在する岡城跡公園斜面林で、樹高15m程度・胸高直径30cm程度のコナラの樹冠下をコナラとヒサカキの比較的若い個体の枝葉がほぼ閉鎖している林分、およびイヌシデが優占する比較的明るい二次林の2カ所を選定し、林床相対照度の経年変化と、樹高1.5m以下の木本の種別全個体数を樹高50cm間隔で継続調査し、レポートにまとめる授業内容であった(山岡、1994参照)。遷移と種子散布型、そして光環境の関わりを事前に基礎知識として講義していたとは言え、年々蓄積して行くデータに基づいてレポートにまとめる課題は学生には過酷であった。白山再移転後は適当な野外調査の場所が得られず、学生の安全確保と種の同定のための補助の人手も失い、天候相手の野外授業は年度初めに日程を明示して公表する「シラバス」通りの授業運営を要求される体制には馴染まなくなった。遷移と光争奪戦略・戦術に限定して実験室で行えるように授業内容を大幅変更しなればならず、それが本報の骨子となった。

以下、2005年度以降の授業改良の効果を概括しておく。

1997年度以前の受講者数は講義科目生物学も生物学実験講義も安定していたが、1998年度から2004年度にかけて受講者数が激減していた(山岡、2006b)。学生に興味関心を持たせ、教室に出て来させなければ問題外である。多くの学生にとって当時著者が行っていた講義科目生物学や生物学実験講義の授業が、学生気質の変化に応ずることが難しくなってきたおり、改革の必要を感じていた。度重なるカリキュラム改変を背景に白山再移転が追い打ちをかけるならば教養的科目、中でも自然科学系諸科目、特に実験・実習講義は更なる打撃を受けると予想された。カリキュラム改変により自然科学系科目を履修せずに卒業することが不可能ではなくなり、極端なケースでは留学生用の「日本事情」1コースを

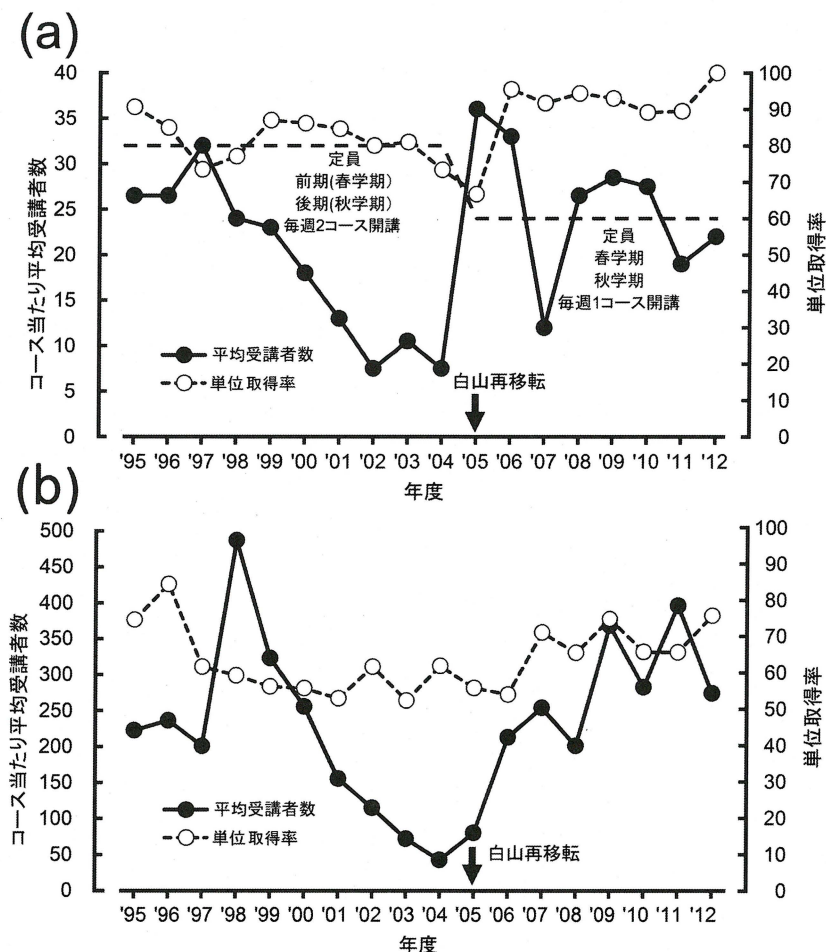


図 11 生物学実験講義および講義科目生物学の受講者数・単位取得率の推移

2005 年度に行われた朝霞校舎から白山校舎への移転前後のコース当たり受講者数と単位取得率の平均値の推移を示す。(a) 生物学実験講義、2004 年度以前と 2005 年度以後のコース当たり履修定員を破線水平線で示す。履修希望者が定員を超えている年度は、履修希望者の強い希望がある場合であって顕微鏡の台数等設備が許す場合、実験台のスペース等の減少を学生が受け入れることを条件に抽選を行わず、希望者全員を受け入れた。(b) 講義科目生物学、2004 年度までは週 2 コース、2005 年度以降は週 3 コースの担当である。また、2009 年度以降は教室変更でも対応不能な教室の規模を超える学生数の履修登録のために抽選を行った後の受講者を示している。希望者数は表示した受講者数の 1.2～1.5 倍であるが、グラフの煩雑を避けるために希望者数の推移は示していない。なお、生物学実験講義と生物学を隔年ローテーションで開講している第 2 部はデータから除く。

含む数科目を残し、生物学を含む自然科学系科目を教育課程表から大幅に削減する学部すら生じた。

一方、白山校舎再移転により履修のハードルが下がり、気楽に登録し気楽に捨てる学生の増加が危惧された。朝霞時代の 4 年生は比較的少数の、卒業単位充足のためにやむ

を得ず朝霞校舎に受講しに来ていた学生であったが、2005年度以降は手元の成績データが示すところによれば、4年生は言うに及ばず全学年で登録はしたものの常習的欠席・平常試験不受験等、単位を簡単に「捨てる」学生の絶対数が増加している(データ不提示)。2005年度の白山再移転後の、著者が担当する授業における受講者数の急増傾向に反して単位取得率の微増傾向(図11-b)はそのことを示唆している。講義科目生物学の単位取得率の低さは、就職活動・課外活動・冠婚葬祭・傷病等、然るべきやむを得ぬ理由による不受験者には追試験を実施しているにもかかわらず、正当な理由をの証提示し得ないままの不受験者が10～15%、受験しても得点が10点以下の学生が10～20%存在することによる。その様な一般的傾向下でも実験講義では単位を捨てたと考えられる常習的欠席者は1～3%止まりであった(データ、不提示)。

1998年度からの受講者数の激減傾向に加え、大幅なカリキュラム改変の概要が判明するばかりでなく白山再移転が決定されたことが2000年度に授業内容の再構成を目指した教材研究を始めた理由である。「特に好まなくても、積極的に花を嫌う者はない」と考え、行動生理学・神経生理学の研究者である著者が植物分類学、組織形態学、生化学などを改めて勉強し、講義と学生実験のメニュー作りに取り組み始め、2005年度に講義科目1コースの試行を経て2006年度から第1部の講義科目生物学3コース中2コースで、生物学実験講義は1コースでテーマを植物関連に変更した。生物学実験講義は1室の学生実験室の科目間の使い回しでは2コースの開講が不可能なことから履修希望者数の減少が予測されたことから休講措置により1コースに削減された授業内容の変更である。なお、講義科目生物学では2006年度以降、1コースだけ従来型の神経生理学をテーマとした授業を残しておいた。

実験講義(図11-a)、講義科目(図11-b)共に2004年度を底に、2005年度の授業内容の改変を契機に履修者数の改善が見られ、授業内容の変更により学生を惹きつける効果が認められた。講義科目では単位取得率が漸増傾向を示し(図11-b)、顕著とは言えないがそれなりの効果は認められた。実験講義では、2005年度を境に単位取得率に10%程度の明瞭な上昇が認められ(図11-a)、相応のプラス評価を与えても良い、と考える。工夫次第では文系学生の興味関心を惹起し、不十分な実験条件下でもそれなりに教育効果を上げうることを期待して教材研究に取り組む姿勢を保持しうる所以である。

引用文献

- Cui, M., Vogelmann, T.C. and Smith, W.K. (1991) Chlorophyll and light gradients in sun and shade leaves of *Spinacia oleracea*. *Plant, Cell & Environment* **14**, 493-500.
- Demmig-Adams, B. and Adams III, W.W. (1992) Carotenoid composition in sun and shade leaves of plants with different life forms. *Plant, Cell & Environment* **15**, 411-419.
- Evans, J.R. and Poorter, H. (2001) Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in

- maximizing carbon gain. *Plant, Cell and Environment* **24**, 755-767.
- Hanson, H.C. (1917) Leaf-structure as related to environment. *Amer. J. Bot.* **4**, 533-560.
- Jurik, T.W. (1986) Temporal and spatial patterns of specific leaf weight in successional northern hardwood tree species. *Amer. J. Bot.* **73**, 1083-1092.
- Koike, T. (1988) Leaf structure and photosynthetic performance as related to the forest succession of deciduous broad-leaved trees. *Plant Species Biol.*, **3**, 77-87.
- Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C. Döll, M., Fietz, H. -J., Bach, T., Kozel, U., Meier, D. and Rahmsdorf, U. (1981) Photosynthetic activity, chloroplast ultrastructure, and leaf characteristics of high-light and low-light plants and of sun and shade leaves. *Photosynthesis Research* **2**, 115-141.
- McManus, J.F.A. and Mowry, R.W. (1960) Staining Methods, Histological and Histochemical. Harper & Row, New York, Evanston & London and John Weatherhill, Tokyo, pp.423.
- Nakanishi, H. (1996) Fruit color and fruit size of bird-disseminated plants in Japan. *Vegetatio* **123**, 207-218.
- Nobel, P.S. (1976) Photosynthetic rates of sun *versus* shade leaves of *Hyptis emoryi* Torr. *Plant Physiol.* **58**, 218-223.
- Oren, R., Schulze, E.-D., Mayssek, R. and Zimmermann, R. (1986) Estimating photosynthetic rate and annual carbon gain in conifers from specific leaf weight and leaf biomass. *Oecologia* **70**, 187-193.
- Peng, S., Garcia, F.V., Laza, R.C. and Cassman, K. G. (1993) Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. *Agronomy Journal* **85**, 987-990.
- Poorter, H., and Evans, J.R. (1998) Photosynthetic nitrogen-use efficiency of species that differ inherently in specific leaf area. *Oecologia* **116**, 26-37.
- Reich, P.B., Ellsworth, D.S., Walters, M.B., Vose, J.M., Gresham, C., Volin, J.C. and Bowman, W.D. (1999) Generality of leaf trait relationships: a test across six biomes. *Ecology* **80**, 1955-1969.
- Steinbauer, M.J. (2001) Specific leaf weight as an indicator of juvenile leaf toughness in Tasmanian bluegum (*Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*): implications for insect defoliation. *Australian Forestry* **64**, 32-37.
- Tadaki, Y. (1970) Studies on the production structure of forest (XVII) Vertical change of specific leaf area in forest canopy. *J. Jap. Forestry Soc.* **50**, 263-268.
- Terashima, I., Miyazawa, S. and Hanba, Y. T. (2001) Why are sun leaves thicker than shade leaves? - Consideration based on analyses of CO₂ diffusion in the leaf. *J. Plant Res.*, **114**, 93-105.
- Wheelwright, N.T. and Janson, C.H. (1985) Colors of fruit displays of bird-dispersed plants in two tropical forests. *American Naturalist* **126**, 777-799.

- Wilson, P.J., Thompson, K., and Hodgson, J.G. (1999) Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytol.*, **143**, 155-162.
- Witkowski, E.T.F. and Lamont, B.B. (1991) Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia* **88**, 486-493.
- Yamaoka, K., Moriyama, H. and H. Shigematsu (1976) Creation of the green in cities: The effect of urbanization on the plant community. In: *Science for Better Environment. Proc. International Cong. on the Human Environment (HESC)*. The Asahi Evening News, Tokyo, p.286-292.
- 荒木真之 (1972) 林木の葉の SLA に関する研究 (II) シラカバ模型林における葉の比面積と季節・庇陰の関係。日本林學會誌 **54**, 184-191。
- 稲田勝美 (1991) 作物葉の葉緑素含量の非破壊推定法—その原理と測定器の開発について—。日本作物学会中国支部研究集録 **32**, 12-13。
- 井上勤 (2004) 顕微鏡観察シリーズ3、植物の顕微鏡観察第5刷発行。地人書館、東京。pp.212。
- 香川雅純・江藤幸二・梶本卓也 (2007) 同一地域に植栽されたカシ類の光合成特性。九州森林研究 **60**, 75-78。
- 川島誠一郎 (代表著作者) (1997) 改訂版高等学校生物 I B。数研出版、東京、pp.319。
- 北澤新 (2012) 陽葉と陰葉の大きさの比較。北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要 **24**, 54-55。
- 小林忠義・影山圭三 (1964) 病理組織標本の作り方、改訂第2版。医学書院、東京・大阪、p.80-82。
- 小池孝良 (1990) 用語を提唱する—Specific Leaf Weightと訳—。日本林學會誌 **72**, 255-256。
- 小池孝良・市栄智明・北岡哲・北尾光俊 (2004) 落葉広葉樹の個葉の光合成特性と樹冠部の光合成機能。地球環境 **9**, 191-202。
- 窪田文武・植田精一 (1977) チモシー個葉の光合成速度と SLA (比葉面積) との関係。日本草地学会誌 **23**, 101-107。
- 守山弘・山岡景行・重松猛 (1977) 都市における緑の創造。第3報、歴史的農業地帯における二次林屋敷林の歴史的位置付け。東洋大学紀要教養・自然 **20**, 83-88。
- 守山弘・原田直国・山岡景行・榎本末男・重松猛 (1984) 都市における緑の創造。第4報、都市区域につくり出した林にみられる植生遷移の歪み。人間と環境 **10**, 14-24。
- 文部科学省 (2009) 高等学校学習指導要領、pp.315。
- 長嶋寿江 (2009) 植物のサイズと成長—成長解析—。低温科学 **67**, 113-118。北海道大学低温科学研究所・日本光合成研究会共編「光合成研究法」pp.679。
- 中西弘樹 (1999) 鳥散布果実の色と大きさ。上田啓介編著「種子散布—助け合いの進化論1鳥が運ぶ種子」、築地書館、p.41-49。
- 農産業振興奨励会 (1998) 大規模経営体土壌・作物・生産物分析システム実用化事業実績報告書、pp.68。
- 小川房人 (1967) 芦生ブナ林の立体構造と光分布。JIBP-PT-F, **41**, 45-52。

- 斎藤哲・佐藤保・小南陽亮・永松大 (2001) コジイ壮齡二次林における葉の垂直分布。日本林學會九州支部研究論文集 **57**, 75-76。
- 陶山健一郎・作田耕太郎 (2009) シダレザクラ樹冠内での光環境と比葉面積およびSPAD値の関係。九州大学農学部演習林報告 **90**, 39-49。
- 生物学辞典、岩波書店、第2版(1977)、第4版(1996)。
- 生物学辞典、東京化学同人、第1版(2010)。
- 生態学事典、初版(1974)、沼田真編、築地書館。
- 只木良也・木下真実子 (1988) 葉緑素計SPAD-501を用いて測定した樹木の葉のクロロフィル濃度。日本林學會誌、**70**, 488-490。
- 只木良也・蜂屋欣二 (1986) 森林生態系とその物質生産。わかりやすい林業解説シリーズ 29、林業科学技術振興所、pp.64、(沼田真監修:生態学研究シリーズ4、依田恭二 (1971) 森林の生態学、pp.330からの引用)。
- 山本一清 (2003) 森林情報の解析を目的として開発中の画像解析ソフト、LIA for Win32 (LIA32), Ver 0.376 β 1。 <http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/>
- 山岡景行・守山弘・重松猛 (1975) 都市における緑の創造。第1報、都市化の植物社会に及ぼす影響。東洋大学紀要教養・自然 **18**, 11-30。
- 山岡景行・守山弘・重松猛 (1977) 都市における緑の創造。第2報、歴史的農業地帯における二次林屋敷林の生態的位置付け。東洋大学紀要教養・自然 **20**, 17-33。
- 山岡景行 (1994) 都市化が植生に及ぼす影響：武蔵野の川辺林における木本芽生えの動向。東洋大学紀要教養・自然 **38**, 59-81。
- 山岡景行 (2005) 文系学生のための生物学教材の改良 そのⅠ：「赤い花・青い花の秘密」。東洋大学紀要自然科学篇 **49**, 61-85。
- 山岡景行 (2006a) 文系学生のための生物学教材の改良 そのⅡ：講義版「赤い花・青い花の秘密」。東洋大学紀要自然科学篇 **50**, 69-77。
- 山岡景行 (2006b) 文系学生のための生物学教材の改良 そのⅢ：最近の改良の効果測定。東洋大学紀要自然科学篇 **50**, 79-88。
- 山岡景行 (2007) 文系学生のための生物学実験(1)：ペチュニア等の花卉とブドウ果皮から抽出したアントシアニンの発色に対するpHの影響。東洋大学紀要自然科学篇 **51**, 69-86。
- 山岡景行 (2008) 文系学生のための生物学実験(2)：Petunia花卉とナス果皮から抽出したanthocyanineによる金属錯体の形成。東洋大学紀要自然科学篇 **52**, 71-85。
- 山岡景行 (2009a) 文系学生のための生物学教材の改良、Ⅳ：被子植物の蜜標、その1 紫外線画像処理。東洋大学紀要自然科学篇 **53**, 53-67。
- 山岡景行 (2009b) 文系学生のための生物学教材の改良、Ⅳ：被子植物の蜜標 その2 蜜標の擬似紫外線カラー画像。東洋大学紀要自然科学篇 **53**, 69-87。
- 山岡景行 (2009c) 文系大学の自然科学教育－東洋大学白山校舎の場合－。東洋大学中国哲学文学科紀要 **17**, 103-116。
- 山岡景行 (2010) 文系学生のための生物学教材の改良、Ⅳ：被子植物の蜜標 その3 蜜標の擬似紫外線カラー画像。東洋大学紀要自然科学篇 **54**, 69-85。

山岡景行 (2011) 文系学生のための生物学教材の改良、IV：被子植物の蜜標 その4 昼咲きと夜咲きの数種アカバナ科マツヨイグサ属植物の花弁の反射スペクトル。東洋大学紀要自然科学篇 **55**, 137-149。

山岡景行 (2012) 文系学生のための生物学教材の改良、V：アントシアニンのpHに対する反応等、溶液の色の簡易計測法。東洋大学紀要自然科学篇 **56**, 111-127。

吉里勝利 (代表著作者) (2012) 高等学校新生物基礎、第一学習社、広島市、pp.176。